Journal of Quality Engineering and Management

www.pqprc.ir

J. Qual. Eng. Manag. Vol. 14, No. 3 (2024) 244–252.

Paper Type: Original Article

Medical Image Transmission in Multi-State Synchronization of Chaotic Systems Using Polynomial Fuzzy Modeling

Ali Akbar Kekha Javan[1], **Abazar Keikha**[2,*]

[1] Department of Electrical Engineering, Zabol Branch, Islamic Azad University, Zabol, Iran; kikha_akbar@yahoo.com.
[2] Department of Mathematics and Statistics, Velayat University, Iranshahr, Iran; abazar_keikha@yahoo.com.

Citation:

Received: 04 February 2024 *Revised: 24 April 2024* *Accepted: 28 May 2024*	Kekha Javan, A. A., & Keikha, A. (2024). Medical image transmission in multi-state synchronization of chaotic systems using polynomial fuzzy modeling. *Journal of Quality Engineering and Management, 14*(3), 244-252.

Abstract

Purpose: The most important effects of the Internet of Things in healthcare include the ability to exchange information reduce hospitalization costs, and healthcare costs. The primary challenges of the Internet of Things in healthcare are security and privacy, with image transmission being particularly crucial in the areas of communication and security. The primary objective of this paper is to design a suitable channel for transmitting medical data based on chaotic synchronization that utilizes fuzzy modeling.

Methodology: This paper presents a new method for transmitting medical images to preserve patient information by synchronizing two fractional-order convolutional neural networks based on polynomial fuzzy modeling. Using chaotic signals as a carrier for medical images and employing a suitable fuzzy controller for synchronization at the receiver enhances the level of security and significantly reduces the likelihood of detection. In this scheme, a suitable fuzzy controller is designed to establish the stability of the closed-loop system. Then, considering the synchronization scheme based on the polynomial fuzzy model and its error detection, a chaotic masking method is proposed to encrypt images related to patients.

Findings: Simulations have been performed on color and black-and-white medical images. Encrypted and recovered images have been obtained using this scheme. The simulation and accuracy of the proposed method's results have been investigated using MATLAB software. To evaluate the performance of the proposed method, various criteria, including image histogram, signal-to-noise ratio, correlation, and information entropy, were assessed. The results demonstrate the effectiveness of the proposed method in image encryption.

Originality/Value: This paper presents a new method for transmitting medical images to preserve patient information by synchronizing two fractional-order multi-convolutional systems based on polynomial fuzzy modeling. Using chaotic signals as a carrier for medical images and employing a suitable fuzzy controller for synchronization at the receiver enhances the level of security and significantly reduces the likelihood of detection. In this project, a suitable fuzzy controller is designed to establish the stability of the closed-loop system. Then, considering the multi-state synchronization scheme based on the polynomial fuzzy model and its error detection, a chaotic masking method is proposed to encrypt images related to patients.

Keywords: Medical image transmission, Internet of things, Fractional order chaotic systems, Polynomial fuzzy modeling, Multi-state synchronization.

Corresponding Author: abazar_keikha@yahoo.com
10.48313/jqem.2024.217896
Licensee System Analytics. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0).

مهندسی و مدیریت کیفیت

www.pqprc.ir

دوره ۱۴، شماره (۳)، (۱۴۰۳)، ۲۵۲-۲۴۴

نوع مقاله: پژوهشی

انتقال تصاویر پزشکی در همزمان‌سازی چندحالته سیستم‌های آشوبی با استفاده از مدل‌سازی فازی چندجمله‌ای

علی‌اکبر کیخا جوان[۱]، اباذر کیخا[۲]*

[۱]گروه برق، واحد زابل، دانشگاه آزاد اسلامی، زابل، ایران.

[۲]گروه ریاضی و آمار، دانشگاه ولایت، ایرانشهر، ایران.

چکیده

هدف: از مهم‌ترین اثرات اینترنت اشیا در مراقبت‌های بهداشتی، می‌توان توانایی تبادل اطلاعات، کاهش هزینه‌های بستری در بیمارستان و هزینه‌های مراقبت‌های بهداشتی را نام برد. چالش‌های اصلی اینترنت اشیا در مراقبت‌های بهداشتی امنیت و حفظ حریم خصوصی است که در این بین انتقال تصاویر در حوزه‌های ارتباطی و امنیتی بسیار مهم می‌باشد. هدف اصلی این مقاله طراحی یک کانال مناسب ارسال داده‌های پزشکی مبتنی بر همزمان‌سازی آشوبی که از مدل‌سازی فازی بهره جسته است می‌باشد.

روش‌شناسی پژوهش: در این مقاله یک روش جدید برای انتقال تصاویر پزشکی به‌منظور حفظ اطلاعات بیماران به کمک همزمان‌سازی دو سیستم چن چند پیچکی مرتبه کسری بر پایه مدل‌سازی فازی چندجمله‌ای ارایه می‌شود. استفاده از سیگنال‌های آشوبی به‌عنوان حامل تصاویر پزشکی و بهره جستن از کنترل‌کننده مناسب فازی برای همزمان‌سازی در گیرنده میزان امنیت را ارتقا و احتمال کشف آن را به‌شدت کاهش می‌دهد. در این طرح برای برقرارسازی پایداری سیستم حلقه بسته کنترل‌کننده فازی مناسب طراحی می‌شود. سپس با توجه به طرح همزمان‌سازی بر پایه مدل فازی چندجمله‌ای و کشف خطای آن یک روش ماسک‌گذاری آشوبی به‌منظور رمزنگاری تصاویر مربوط به بیماران پیشنهاد شده است.

یافته‌ها: شبیه‌سازی‌ها بر روی تصاویر رنگی و سیاه و سفید پزشکی انجام شده است. تصویرهای رمزنگاری‌شده و بازیابی‌شده به کمک این طرح به‌دست آمده‌اند. شبیه‌سازی و صحت نتایج روش ارایه‌شده در نرم‌افزار متلب مورد بررسی قرار گرفته است. برای ارزیابی عملکرد روش پیشنهادی، معیارهای مختلف شامل هیستوگرام تصویر، نرخ سیگنال به نویز، همبستگی و آنتروپی اطلاعات ارزیابی شده‌اند. نتایج حاصله کارایی روش پیشنهادی را در رمزنگاری تصاویر نشان داده‌اند.

اصالت/ارزش افزوده علمی: در این مقاله یک روش جدید برای انتقال تصاویر پزشکی به‌منظور حفظ اطلاعات بیماران به کمک همزمان‌سازی دو سیستم چن چند پیچکی مرتبه کسری بر پایه مدل‌سازی فازی چندجمله ای ارایه می‌شود. استفاده از سیگنال‌های آشوبی به‌عنوان حامل تصاویر پزشکی و بهره جستن از کنترل‌کننده مناسب فازی برای همزمان‌سازی در گیرنده میزان امنیت را ارتقا و احتمال کشف آن را به‌شدت کاهش می‌دهد. در این طرح برای برقرارسازی پایداری سیستم حلقه بسته کنترل‌کننده فازی مناسب طراحی می‌شود، سپس با توجه به طرح همزمان‌سازی چندحالته بر پایه مدل فازی چندجمله ای و کشف خطای آن یک روش ماسک‌گذاری آشوبی به‌منظور رمزنگاری تصاویر مربوط به بیماران پیشنهاد شده است.

کلیدواژه‌ها: انتقال تصاویر پزشکی، اینترنت اشیا، سیستم‌های آشوبی مرتبه کسری، مدل‌سازی فازی چندجمله‌ای، همزمان‌سازی چندحالته.

۱- مقدمه

امروزه در بسیاری از کشورهای توسعه‌یافته، تعداد گسترده‌ای از تصاویر پزشکی به‌صورت الکترونیکی ذخیره می‌شوند. گسترش ذخیره‌سازی الکترونیکی تصاویر پزشکی از یک سو و از سوی دیگر وجود شبکه‌های سیمی و بی‌سیم در اکثر مکان‌ها، امکان دسترسی و اشتراک‌گذاری آسان

تصاویر در میان پرسنل پزشکی را فراهم آورده است. در عین حال، توزیع آسان تصاویر تهدید بزرگی در حفظ اطلاعات بیمار است. محرمانه نگه‌داشتن اطلاعات بیماران یکی از جنبه‌های حیاتی امنیت در سرویس‌های سلامت الکترونیکی است [1]. در چنین شریطی می‌بایست یک راهکار ردیابی کارآمد در مقابل پخش غیر مجاز تصاویر پزشکی به‌کار گرفته شود.

حفاظت از حریم خصوصی بیمار در قالب محرمانه نگاه‌داشتن تصاویر پزشکی وی، همواره موضوع مهمی در مدیریت سوابق پزشکی بیماران بوده است. امروزه در بسیاری از کشورهای توسعه‌یافته تعداد گسترده‌ای از تصاویر پزشکی به‌صورت الکترونیکی ذخیره می‌شوند، این امر از یک سو سبب شده است که بایگانی تصاویر بیماران و دسترسی به آن‌ها به‌راحتی انجام گیرد و از سوی دیگر امکان نشر این تصاویر نیز به‌سادگی میسر گشته است. تصاویر پزشکی نقش مهمی در میادین پزشکی چه در تشخیص بیماری و چه در درمان مناسب این بیماری‌ها ایفا می‌کنند. انواع مختلفی از تصاویر پزشکی وجود دارند که می‌توان به تصاویر *MRI,CTSCAN* و پرتوی ایکس اشاره نمود [2]. در سالیان اخیر رمزنگاری در تصاویر پزشکی به‌منظور حفاظت از اطلاعات بیمار، گسترش قابل توجه یافته و تکنیک‌های مختلفی برای این امر مطرح شده است. در این مرجع یک تبدیل عدد کسینوسی چند پارامتری پیشنهاد شد. به وسیله‌ی آزمایشات نشان داده شد که این طرح در برابر حملات پنهانی مقاوم است. رمزنگاری تصاویر پزشکی بر اساس رمزنگاری بیضوی و نظریه آشوب در [3] انجام شد.عملکرد دو رمزنگاری سیستم در مقوله‌های تحلیل امنیت و زمان اجرا ارزیابی می‌شود. نتایج به‌دست آمده قابل اطمینان بوده و می‌تواند برای جست‌وجوی محور تحقیقاتی استفاده شود. محافظت تصاویر پزشکی با استفاده از عملیات الگوریتم ژنتیک در [4] مطالعه شد. تحلیل عملکرد نشان می‌دهد که طرح پیشنهادی دارای مشخصه‌ی آماری خوب، حساسیت کلیدی است و می‌تواند بر حملات دیفرانسیل، متنی و آنتروپی مقاومت کند.

مساله هم‌زمان‌سازی سیستم‌های آشوبی از دهه‌ی ۱۹۹۰ به بعد توجه زیادی میان محققان دریافت نموده است. در هم‌زمان‌سازی آشوبی، اختلاف متغیرهای حالت خروجی سیستم‌های آشوبی پایه و پیرو پس از گذشت یک بازه‌ی زمانی به کمک کنترل‌کننده‌ی مناسب به سمت صفر می‌رود. هم‌زمان‌سازی آشوبی کاربردهای زیادی در نظریه‌ی کنترل، سیستم‌های شیمیایی، مدارهای الکترونیکی و انتقال تصاویر به‌صورت امن دارد –[5] [8]. سیستم‌های آشوبی، سیستم‌هایی می‌باشند که به‌طور طبیعی به‌شدت غیرخطی بوده و رفتار دینامیکی پیچیده‌ای را از خود نشان می‌دهند. این سیستم‌ها به شرایط اولیه بسیار حساس می‌باشند. هم‌زمان با استفاده کنترل‌کننده‌های فازی در بحث هم‌زمان‌سازی و کاربرد آن در مخابرات امن، استراتژی هم‌زمان‌سازی آشوبی مختلفی به‌صورت تئوری در تحقیقات به‌کار برده شده است. می‌توان به کنترل فیدبک حالت، کنترل مد لغزشی، کنترل تطبیقی، کنترل گام به عقب، کنترل فعال و کنترل منطق فازی اشاره نمود [18]–[9].

دوره‌های جدید، تحقیقات زیادی روی سیستم‌های فازی مدل تاکاگی–سوگنو، مدل چندجمله‌ای و تئوری آشوب توسط مهندسین سیستم و کنترل انجام شده است. سیستم‌های فازی جایگاه خود را در بسیاری صنایع مانند اتوماسیون و کنترل باز کرده‌اند. از طرف دیگر در دنیای مهندسی و زمانی که به کاربردهای عملی می‌اندیشیم، پدیده مهم آشوب خودنمایی می‌کند و لذا کنترل آشوب تاثیر زیادی روی افزایش عملکرد این گونه سیستم‌ها به لحاظ زمان و انرژی خواهد داشت [22]–[19].

مدل‌سازی فازی برای سیستم‌های غیرخطی دارای عدم قطعیت به کمک فازی نوع ۲ ارایه گردید که پدیده چترینگ باعث کاهش تلاش کنترل‌کننده فازی می‌شود و خطا کاهش می‌یابد. یکی از مزایایی که مدل‌سازی فازی دارد، آن است که قابل درک می‌باشد. ثابت شده است که مدل‌های فازی تقریب‌گرهای جهانی برای سیستم‌های غیرخطی می‌باشند. بنابراین در تحقیقات از مدل‌های فازی تاکاگی–سوگنو به‌طور گسترده‌ای در مدل‌سازی سیستم‌های آشوبی استفاده شده است. اما توجه کمتری به مدل‌های فازی چندجمله‌ای شده است.

در سیستم فازی چندجمله‌ای کنترل‌کننده فازی مبتنی بر روش جمع مربعات[1] و مدل‌سازی فازی چندجمله‌ای موثرتر از کنترل‌کننده فازی مبتنی بر *LMI* می‌باشند. قسمت‌های تالی مدل فازی چندجمله‌ای با ماتریس چندجمله‌ای تشکیل شده است. بنابراین، شرایط پایداری *SOS* کلی‌تر از شرایط پایداری *LMI* می‌باشد. بنابراین سیستم‌های فازی چندجمله‌ای معیارهای ساده‌تری برای تحلیل پایداری و طراحی کنترل‌کننده در اختیار قرار می‌دهند.

[1] Sum of Squares (SOS)

تعداد مدل‌های محلی به‌طور عمومی کمتر از سیستم‌های فازی *T-S* می‌باشد و شرایط طراحی *SOS* روش‌های طراحی مبتنی بر *LMI* برای مدل فازی *T-S* را به‌عنوان یک حالت خاص در نظر می‌گیرند. در این تحقیق ابتدا سیستم‌های آشوبی چن ارباب و برده مرتبه کسری به مدل‌های معادل چندجمله‌ای فازی انتقال می‌یابند. سپس یک کنترل فازی چندجمله‌ای به‌منظور هم‌زمان‌سازی مدل‌های فازی چندجمله‌ای ارباب و برده طراحی می‌شود. طراحی کنترل فازی چندجمله‌ای در مقوله‌ی شرایط *SOS* انجام می‌شود که می‌تواند به‌وسیله ابزار بهینه‌سازی *SOS* به نام *SOSTOOLS* انجام شود [11]، [22]. یک روش هم‌زمان‌سازی نمایی تطبیقی مبتنی بر مدل فازی *T-S* برای سیستم‌های تاخیردار زمانی آشوبی در [23] پیشنهاد شد.

یک الگوریتم رمزنگاری تصویر پزشکی مبتنی بر هم‌زمان‌سازی سیستم آشوبی تاخیردار زمانی به کمک کنترل‌کننده‌ی خطی در [24] ارایه شد. یک طرح هم‌زمان‌سازی تطبیقی مبتنی بر مشاهده‌گر با استفاده از سیستم آشوبی تاخیردار زمانی برای مخابرات امن در [25] پیشنهاد شد. در تحقیق [26] سیستم آشوبی چن در نظر گرفته شده و طراحی کنترل‌کننده چندجمله‌ای فازی برای هم‌زمان‌سازی سیستم‌های آشوبی چن چند پیچکی مورد توجه قرار گرفته است. با توجه به تحقیقات پیشین از نظریه‌ی آشوب در رمزنگاری تصاویر پزشکی استفاده شده است، اما در کاربرد مدل‌سازی فازی در سیستم‌های آشوب و طراحی کنترل‌کننده مناسب فازی جهت انتقال تصاویر پزشکی، توجهی به هم‌زمان‌سازی چندگانه نشده است. موضوع این مقاله ارایه‌ی یک طرح هم‌زمان‌سازی سیستم‌های آشوبی بر پایه مدل‌سازی فازی چندجمله‌ای و کنترلر مناسب برای همگرایی خطا به‌سمت صفر و کاربرد آن جهت ارسال تصاویر پزشکی به‌طور ایمن است. هم‌زمان‌سازی چندحالته می‌تواند پیچیدگی بیشتری در مقایسه با حالات دیگر فراهم کند. همچنین وجود اغتشاش به پیچیده‌تر نمودن طرح رمزنگاری کمک می‌کند. با توجه به این موارد در این مقاله به این موضوع پرداخته شده است.

در این مقاله، در بخش ۲ هم‌زمان‌سازی چندحالته سیستم‌های آشوبی مرتبه کسری چن ارایه می‌شود. در این روش چندین سیستم آشوبی (پیرو) با یک سیستم آشوبی (پایه) هم‌زمان می‌شوند؛ مساله هم‌زمان‌سازی چندحالته در حضور اغتشاش ارایه شده است. در بخش ۳ کنترل‌کننده فازی و مدل چندجمله‌ای آن برای هم‌زمان‌سازی و کاهش خطا ارایه گردیده است و در بخش ۴ با استفاده از ماسک‌گذاری آشوبی تصاویر مختلف پزشکی رمزنگاری و منتقل می‌شوند. کارایی روش توسط معیارهای: *Histogram Analysis*، *Correlation Analysis*، *NPCR*، *UACI*، *PSNR* و *Information Entropy* ارزیابی می‌شود.

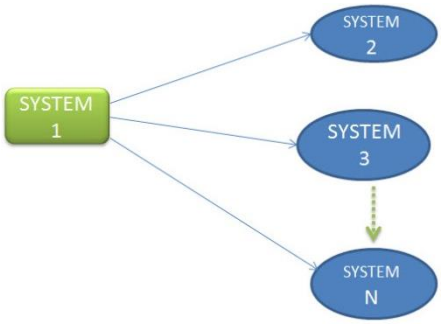
۲- توصیف سیستم و فرمول‌نویسی مساله

یک سیستم آشوبی چن چند پیچکی به‌صورت زیر در نظر گرفته می‌شود [18]، [26].

$$\begin{cases} x_1 = a(x_2 - x_1) \\ x_2 = (c - a - x_3 + d\sin x_3)x_1 + cx_2, \\ x_3 = x_1x_2 - bx_3 \end{cases} \quad (۱)$$

که x_3, x_2, x_1 متغیرهای حالت و d, c, b, a پارامترهای سیستم می‌باشند.

این سیستم آشوبی به‌عنوان سیستم پایه با دو سیستم پیرو بر پایه مدل ارایه‌شده هم‌زمان‌سازی می‌گردد. **شکل ۱** بلوک دیاگرام مدل هم‌زمان‌سازی بین یک سیستم پایه و چند سیستم پیرو را نشان می‌دهد.



شکل ۱- ساختار هم‌زمان‌سازی میان یک سیستم پایه و چند سیستم پیرو.

Figure 1- Synchronization structure between a base system and multiple slave systems.

سیستم مرتبه کسری چن آشوبی به‌صورت **معادله (۲)** می‌باشد.

$$\begin{cases} D^q x_1 = a(x_2 - x_1) \\ D^q x_2 = (c - a - x_3 + d\sin x_3)x_1 + cx_2, \\ D^q x_3 = x_1 x_2 - bx_3 \end{cases} \quad (۲)$$

که در آن D^q مشتق با مرتبه کسری q است. با استفاده از تعریف مشتق گرانوالد لتنیکوو سیستم را شبیه‌سازی می‌کنیم. روابط تعریف مشتق گرانوالد لتنیکوو به‌صورت زیر است.

$$D_t^q f\ t) = \lim_{t\to\infty} \frac{1}{h^q} \sum_{j=0}^{\infty} -1)^{\ j} \binom{q}{j} f\ t - jh), \quad (۳)$$

که $\binom{q}{j} = \frac{q!}{j!(q-j)!} = \frac{q!}{j!(q-j)!} = \frac{\Gamma(q+1)}{\Gamma(j+1)\Gamma(q-j+1)}$.

اگر $n = \frac{t-a}{h}$ که a ثابت حقیقی است که یک مقدار حد را بیان نموده و می‌توان نوشت:

$${}_aD_t^q = \lim_{h\to 0} \frac{1}{h^q} (-1)^j \binom{q}{j} f\ t - jh). \quad (۴)$$

در محاسبه‌ی عددی مشتقات مرتبه کسری، تقریب عددی آشکار مشتق qth در نقاط kh $(k = 1,2,\dots)$ حالت زیر را نگه می‌دارد.

$$D_{t_k}^q f\ t) \approx h^{-q} \sum_{j=0}^{k} (-1)^j \binom{q}{j} f\ t_k - j). \quad (۵)$$

۴- انتقال تصاویر پزشکی به روش ماسک‌گذاری آشوبی

رمزنگاری عبارت است از به‌هم‌ریختگی اطلاعات به‌طوری‌که برای کسی قابل فهم نباشد. فن‌آوری رمزنگاری امکان مشاهده، مطالعه و تفسیر پیام‌های ارسالی توسط افراد غیر مجاز را سلب می‌نماید. از رمزنگاری به‌منظور حفاظت داده‌ها در شبکه‌های عمومی نظیر اینترنت استفاده می‌گردد [1]، [27].

در روش ماسک‌گذاری آشوبی، یک سیگنال اطلاعات به ترکیب خطی سیگنال‌های آشوبی اضافه می‌شود. اگر $M(t)$ سیگنال اصلی (تصویر پزشکی) باشد که توسط سیستم پایه حمل می‌شود و $F(t)$ پیام انتقالی به‌صورت **معادله (۶)** تعریف می‌شود.

$$F\ t) = M\ t) + \sum_{i=1}^{n} \eta_i z_i(t), \quad (۶)$$

که در آن $z_i(t)$ مولفه ith سیستم پایه و سیگنال $M\ t)$ به‌وسیله‌ی سیگنال آشوبی ماسک گذاری می‌شود. سیگنال $F\ t)$ از فرستنده توسط کانال مخابراتی به گیرنده ارسال می‌شود. با به‌کارگیری کنترل‌کننده‌ی پیشنهادی و همزمان‌سازی چندحالته سیستم‌های آشوبی روی سیگنال دریافت شده می‌توان به کمک **رابطه (۷)** سیگنال پیام (تصویر پزشکی) را بازیابی نمود.

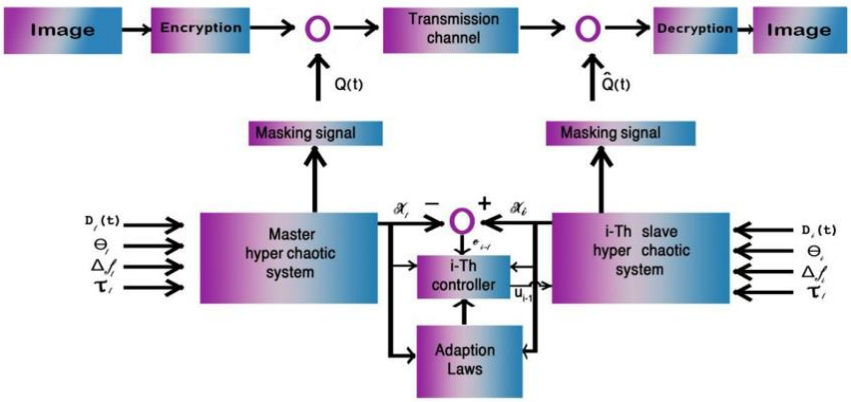
$$\widehat{M}\ t) = F\ t) - \sum_{i=1}^{n} \eta_i y_i\ t), \quad (۷)$$

که در آن $y_i(t)$ مولفه ith سیستم پیرواست. با توجه به مفهوم همزمان‌سازی می‌توان به **رابطه (۸)** رسید.

$$\widehat{M}(t) = M(t) + \sum_{i=1}^{n} \eta_i z_i(t) - \sum_{i=1}^{n} \eta_i y_i(t) = M(t) + \sum_{i=1}^{n} \eta_i (z_i(t) - y_i(t)) = M(t) + \sum_{i=1}^{n} \eta_i e_i(t) \to M(t). \quad (۸)$$

به کمک روش ماسک‌گذاری آشوبی، رمزگذاری و رمزگشایی یک تصویر دیجیتالی با استفاده از طرح هم‌زمان‌سازی چندحالته پیشنهادی انجام می‌شود. شبیه‌سازی به کمک نرم‌افزار متلب می‌باشد. رمزگذاری و رمزگشایی پس از طی زمانی که سیگنال‌های آشوبی هم‌زمان گردند، اعمال می‌شود.

در **شکل ۲** بلوک دیاگرام انتقال تصاویر پزشکی به کمک ماسک‌گذاری آشوبی و هم‌زمان‌سازی چندحالته‌ی تطبیقی پیشنهادی نشان داده شده است.

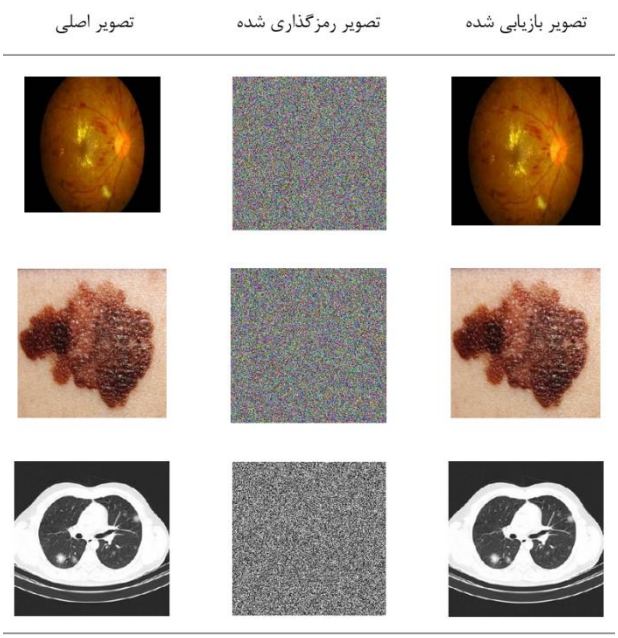


شکل ۲- بلوک دیاگرام طرح کانال رمزنگاری تصاویر مبتنی بر هم‌زمان‌سازی چندحالته سیستم‌های آشوبی پیشنهادی.
Figure 2- Block diagram of the proposed multi-state chaotic system synchronization-based image encryption channel scheme.

در این مقاله جهت بهبود عملکرد رمزنگاری و بالابردن امنیت در بلوک رمزنگاری تصاویر به روش پیشنهادی در رفرنس [28] رمزنگاری شده سپس ماتریس به‌دست آمده بر اساس مکانیزم بلوک دیاگرام پیشنهادی هم‌زمان‌سازی شده و در گیرنده تصاویر بازیابی می‌شوند. همچنین کانال رمزنگاری امن برای تصاویرپزشکی بر پایه سیستم‌های آشوبی چندحالته که دارای اغتشاش بوده ارایه گردیده، در این کانال یک سیستم آشوبی چندحالته به‌عنوان سیستم پایه ارایه شده و دو سیستم آشوبی پیرو که بر اساس شرایط اولیه پارامترهای سیستم پایه را تخمین و تعقیب می‌کنند.

۵- نتایج شبیه‌سازی

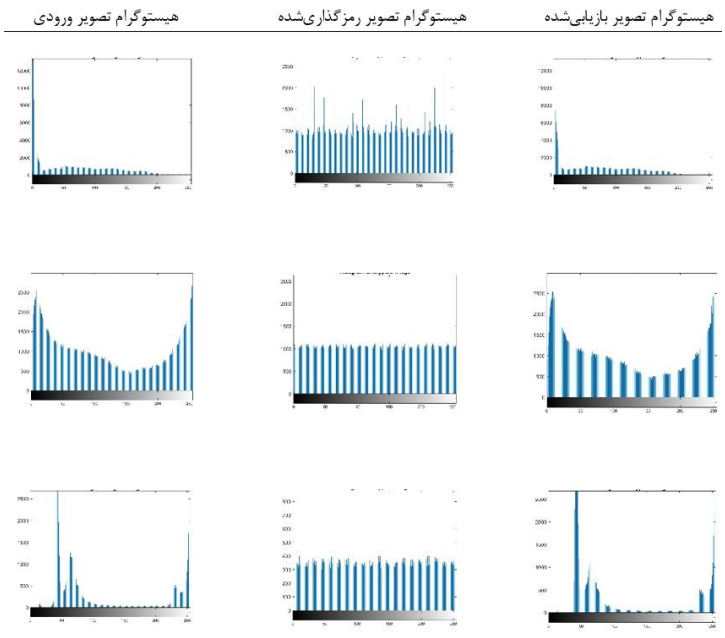
در این بخش، نتایج روش پیشنهادی ارایه شده است. ابتدا تصاویر مورد استفاده برای انجام آزمایش‌ها ارایه می‌شود؛ تصاویر معیار استاندارد و سپس تصاویر پزشکی رنگی داده‌های آزمایش را تشکیل می‌دهند. پارامترهای آماری مختلفی در بخش‌های زیر برای نشان دادن کارایی روش پیشنهادی ارایه شده‌اند.



شکل ۳- تصاویر رمزنگاری‌شده و بازیابی‌شده.
Figure 3- Encrypted and recovered images.

نتایج روش همزمان‌سازی سیستم آشوب مرتبه صحیح برای تصاویر پزشکی معیار استاندارد ارایه شده است. اندازه تمامی تصاویر 300*300 و بدون نویز می‌باشند. در **شکل ۳** تصاویر کدگذاری و بازسازی‌شده در روش همزمان‌سازی چندحالته سیستم آشوب مرتبه صحیح پیشنهادی نمایش داده شده است.

شکل ۴ هیستوگرام تصاویر اصلی، تصاویر رمزگذاری‌شده و تصاویر بازیابی‌شده حاصل از الگوریتم رمزگذاری و همزمان‌سازی چندحالته را نشان می‌دهد.



شکل ۴- هیستوگرام‌های نمایش داده شده برای تصاویر مختلف رمزگذاری‌شده با استفاده از همزمان‌سازی سیستم آشوبی مرتبه کسری.
Figure 4- Histograms displayed for different images encoded using fractional order chaotic system synchronization.

انواع پارامترهای آماری مورد استفاده برای نشان‌دادن کارایی روش همگام‌سازی سیستم آشوب مرتبه کسری برای تصاویر پزشکی در **جدول ۱** نشان داده شده است. برای هر تصویر پزشکی، پارامترهای آماری مانند هیستوگرام، رمزنگاری، *NPCR*، *UACI*، *PSNR* و آنتروپی اطلاعات در **جدول ۱** محاسبه شده است.

جدول ۱- معیارهای آماری برای تصاویر پزشکی (q=0.99).
Table 1- Statistical criteria for medical images (q=0.99).

تصاویر	هیستوگرام		کرولیشن	شاخص‌های مقاوم‌بودن در برابر حملات دیفرانسیلی		PSNR	آنتروپی
	اصلی	بازیابی‌شده		NPCR (%)	UACI (%)		
تصویر ۱	2405977.8787	2405949.9179	0.9989	99.59	33.68	9.5762	7.9924
تصویر ۲	17756.50781	17534.67187	0.9911	99.12	35.15	9.4521	7.9912
تصویر ۳	98919.3515	98912.2432	0.9983	99.66	34.12	9.3421	7.9972

با مشاهده نتایج شبیه‌سازی در **جدول ۱** متوجه می‌شویم که عملکرد الگوریتم پیشنهادی در جهت انتقال تصاویر از پایداری خوب و نشتی کم برخوردار است.

۶- بحث و نتیجه‌گیری

همان‌طور که از **جدول ۱** مشاهده می‌شود تصاویر پزشکی سیاه و سفید، آنتروپی بهتری دارند یعنی بهتر رمزنگاری شده چرا که بهترین حالت عدد ۷/۹۹۷۲ می‌باشد که به استاندارد ۸ نزدیک بوده که نشان‌دهنده موفق عمل کردن کانال رمزنگاری تصاویر طرح‌شده می‌باشد. تفاضل هیستوگرام دو تصویر ورودی و بازیابی‌شده در تصاویر سیاه و سفید بهتر بوده و کمترین مقدار آن ۷/۱۰۸۳ می‌باشد که نشان از کیفیت تصویر بازیابی‌شده و کارایی طرح پیشنهادی می‌باشد. همچنین کریلیشن (همبستگی) دو تصویر ورودی و بازیابی بسیار نزدیک عدد یک می‌باشد که بسیار عالی بوده و در مجموع نشان‌دهنده کارایی مناسب این مقاله برای رمزنگاری تصاویر پزشکی چه رنگی و چه سیاه و سفید می‌باشد.

همان‌گونه که در مقدمه ذکر شده مقالات گوناگونی برای رمزنگاری تصاویر پزشکی به روش‌های متفاوتی از جمله الگوریتم ژنتیک، آشوب بیضوی، کسینوس گسسته کسری تبدیل با عملکرد آشفته و.... برای تصاویر رنگی و *MRI*، *EEG*، *CT*، کار کرده‌اند که هر کدام بر اساس بخشی از معیارهای ذکرشده قبلی روش خود را توصیف نمودند. در این مقاله بر اساس یک نوآوری جدید که سیستم‌های آشوبی چندحالته مرتبه کسری که دارای اغتشاش بوده و بر پایه یک مدل فازی چندجمله‌ای مدل‌سازی شده است را در بستر یک کانال رمزنگاری مورد استفاده قرار داده و این ترکیب را برای تصاویر رنگی و سیاه و سفید مورد تست و آزمایش قرار داده که بر اساس معیارهای استاندارد جدول نشان داده شده است که دارای موفقیت عالی بوده است.

با توجه به ارزیابی، پارامترها نشان می‌دهند روش پیشنهادی برای رمزنگاری تصاویر پزشکی موفق بوده و کارایی کانال رمزنگاری را به‌خوبی نشان می‌دهد و نشان‌دهنده عدم درز اطلاعات در مسیر انتقال می‌باشد. می‌توان از این روش پیشنهادی برای رمزنگاری و انتقال سایر تصاویر پزشکی نظیر تصاویر*COVID* و *EEG* سیگنال‌های قلبی استفاده نمود. از دیگر قابلیت‌های سیستم آشوبی این است که به‌راحتی می‌توان پارامترها را تغییر داد، انواع سیستم‌های آشوبی و فوق آشوبی را جایگزین نمود و یا تاخیر زمانی متغیر با زمان استفاده شود و سپس بر پایه مدل‌سازی فازی چندجمله‌ای پیاده‌سازی گردد .همچنین می‌توان ترکیب‌های دیگری از سیستم‌های آشوبی با نوع دیگری از کانال‌های رمزنگاری را ترکیب نمود که انعطاف‌پذیری روش در رمزگذاری تصاویر را بیان می‌کند.

همچنین در این مقاله، با استفاده از استراتژی طراحی کنترل فازی چندجمله‌ای برای هم‌زمان‌سازی سیستم‌های آشوبی مرتبه کسری چن چند پیچکی خطای هم‌زمان‌سازی چندحالته را در زمان کوتاه به صفر همگرا شده که این مهم در بحث سرعت بازیابی تصاویر پزشکی موثر می‌باشد. سیستم‌های فازی چندجمله‌ای می‌توانند سیستم‌های غیرخطی گسترده‌تری را مدل‌سازی نمایند. سیستم‌های مرتبه کسری می‌توانند مدل دقیق‌تری را در مقابل با مرتبه صحیح ارایه دهند. به‌عنوان کار آینده می‌توان از ترکیب مد لغزشی و فازی چندجمله‌ای، کنترل‌کننده فازی چندجمله‌ای برای سیستم‌های آشوبی توزیعی و سیستم‌های آشوبی زمان محدود استفاده نمود. همچنین می‌توان از روش‌های نوین‌تر در بحث کانال رمزگذاری استفاده شود و با مدل‌سازی فازی سیستم پایه و پیرو ترکیب نمود.

تعارض با منافع

نویسندگان اعلام می‌دارند که هیچ تضادی در منافع در مورد انتشار این نسخه وجود ندارد. همه نویسندگان نسخه نهایی ارسال‌شده را مشاهده و تایید کرده‌اند. نویسندگان تضمین می‌کنند که مقاله، اثر اصلی آن‌ها بوده، قبلا چاپ نشده و در حال حاضر تحت انتشار نمی‌باشد.

منابع

[1] Moafimadani, S. S., Chen, Y., & Tang, C. (2019). A new algorithm for medical color images encryption using chaotic systems. *Entropy*, *21*(6), 577. https://doi.org/10.3390/e21060577

[2] Lima, V. S., Madeiro, F., & Lima, J. B. (2020). Encryption of 3D medical images based on a novel multiparameter cosine number transform. *Computers in biology and medicine*, *121*, 103772. https://doi.org/10.1016/j.compbiomed.2020.103772

[3] Benssalah, M., Rhaskali, Y., & Azzaz, M. S. (2018). Medical images encryption based on elliptic curve cryptography and chaos theory. *2018 international conference on smart communications in network technologies (saconet)* (pp. 222–226). IEEE. https://doi.org/10.1109/SaCoNeT.2018.8585512

[4] Pareek, N. K., & Patidar, V. (2016). Medical image protection using genetic algorithm operations. *Soft computing*, *20*(2), 763–772. https://doi.org/10.1007/s00500-014-1539-7

[5] Pecora, L. M., & Carroll, T. L. (1990). Synchronization in chaotic systems. *Physical review letters*, *64*(8), 821–824. https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.64.821

[6] Çiçek, S., Ferikoğlu, A., & Pehlivan, İ. (2016). A new 3D chaotic system: Dynamical analysis, electronic circuit design, active control synchronization and chaotic masking communication application. *Optik*, *127*(8), 4024–4030. https://doi.org/10.1016/j.ijleo.2016.01.069

[7] Tirandaz, H., & Hajipour, A. (2017). Adaptive synchronization and anti-synchronization of TSUCS and Lü unified chaotic systems with unknown parameters. *Optik*, *130*, 543–549. https://doi.org/10.1016/j.ijleo.2016.10.093

[8] Chen, X., Park, J. H., Cao, J., & Qiu, J. (2017). Sliding mode synchronization of multiple chaotic systems with uncertainties and disturbances. *Applied mathematics and computation*, *308*, 161–173. https://doi.org/10.1016/j.amc.2017.03.032

[9] Yaghoubi, H., & Zare, A. (2022). stability analysis of fuzzy polynomial fractional differential systems using sum-of-squares. *Journal of modeling in engineering*, *20*(71), 61-76. (**In Persian**). https://doi.org/10.22075/jme.2022.24735.2181

[10] Dong, H., Huang, C., Cao, J., & Liu, H. (2024). Adaptive fuzzy quantized prescribed performance synchronization of uncertain non-strict feedback chaotic systems with time-varying actuator failure. *Information sciences*, *681*, 121241. https://doi.org/10.1016/j.ins.2024.121241

[11] Chen, Y. J., Chou, H. G., Wang, W. J., Tsai, S. H., Tanaka, K., Wang, H. O., & Wang, K. C. (2020). A polynomial-fuzzy-model-based synchronization methodology for the multi-scroll Chen chaotic secure communication system. *Engineering applications of artificial intelligence*, *87*, 103251. https://doi.org/10.1016/j.engappai.2019.103251

[12] Senouci, A., & Boukabou, A. (2016). Fuzzy modeling, stabilization and synchronization of multi-scroll chaotic systems. *Optik*, *127*(13), 5351–5358. https://doi.org/10.1016/j.ijleo.2016.03.019

[13] Vaidyanathan, S., & Boulkroune, A. (2016). A novel 4-D hyperchaotic chemical reactor system and its adaptive control. In *advances and applications in chaotic systems* (pp. 447–469). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-30279-9_19

[14] Feki, M. (2017). Sliding mode based control and synchronization of chaotic systems in presence of parametric uncertainties. In *applications of sliding mode control in science and engineering. studies in computational intelligence* (pp. 35–59). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-55598-0_2

[15] Tabasi, M., & Balochian, S. (2018). Synchronization of the chaotic fractional-order genesio–tesi systems using the adaptive sliding mode fractional-order controller. *Journal of control, automation and electrical systems*, *29*(1), 15–21. https://doi.org/10.1007/s40313-017-0350-y

[16] Hamri, N., & Ouahabi, R. (2017). Modified projective synchronization of different chaotic systems using adaptive control. *Computational and applied mathematics*, *36*(3), 1315–1332. https://doi.org/10.1007/s40314-015-0294-4

[17] Onma, O. S., Olusola, O. I., & Njah, A. N. (2014). Control and Synchronization of chaotic and hyperchaotic lorenz systems via extended backstepping techniques. *Journal of nonlinear dynamics*, *2014*, 1–15. https://doi.org/10.1155/2014/861727

[18] Chen, Y. J., Chou, H. G., & Wang, W. J. (2017). Polynomial fuzzy control design for synchronizing multi-scroll chen chaotic systems. *2017 international conference on applied system innovation (ICASI)* (pp. 785–788). IEEE. https://doi.org/10.1109/ICASI.2017.7988548

[19] Zhou, S. S., Jahanshahi, H., Din, Q., Bekiros, S., Alcaraz, R., Alassafi, M. O., …, & Chu, Y. M. (2021). Discrete-time macroeconomic system: Bifurcation analysis and synchronization using fuzzy-based activation feedback control. *Chaos, solitons & fractals*, *142*, 110378. https://doi.org/10.1016/j.chaos.2020.110378

[20] Yu, G. R., Chang, Y. D., & Chang, C. H. (2021). Synthesis of polynomial fuzzy model-based designs with synchronization and secure communications for chaos systems with h∞ performance. *Processes*, *9*(11), 2088. https://doi.org/10.3390/pr9112088

[21] Huang, C., & Cao, J. (2017). Active control strategy for synchronization and anti-synchronization of a fractional chaotic financial system. *Physica a: Statistical mechanics and its applications*, *473*, 262–275. https://doi.org/10.1016/j.physa.2017.01.009

[22] Prajna, S., Papachristodoulou, A., & Parrilo, P. A. (2002). Introducing sostools: A general purpose sum of squares programming solver. *Proceedings of the 41st IEEE conference on decision and control, 2002.* (pp. 741–746). IEEE. https://doi.org/10.1109/CDC.2002.1184594

[23] Ahmad, I., Saaban, A. Bin, Ibrahim, A. B., Shahzad, M., & Mossa Al-sawalha, M. (2016). Reduced-order synchronization of time-delay chaotic systems with known and unknown parameters. *Optik*, *127*(13), 5506–5514. https://doi.org/10.1016/j.ijleo.2016.02.078

[24] Ren, H. P., Bai, C., Huang, Z. Z., & Grebogi, C. (2017). Secure communication based on hyperchaotic chen system with time-delay. *International journal of bifurcation and chaos*, *27*(05), 1750076. https://doi.org/10.1142/S0218127417500766

[25] Wang, W., Jia, X., Luo, X., Kurths, J., & Yuan, M. (2019). Fixed-time synchronization control of memristive MAM neural networks with mixed delays and application in chaotic secure communication. *Chaos, solitons & fractals*, *126*, 85–96. https://doi.org/10.1016/j.chaos.2019.05.041

[26] Kekha Javan, A. A., & Keikha, A. (2024). Fuzzy polynomial application in the synchronization of fractional order chaotic systems based on sum of squares method. *Fuzzy systems and its applications*, *7*(1), 163-187. (**In Persian)**. https://jfsa.fuzzy.ir/article_205960.html?lang=en

[27] Kekha Javan, A. A., Zare, A., & Alizadehsani, R. (2022). Multi-state synchronization of chaotic systems with distributed fractional order derivatives and its application in secure communications. *Big data and cognitive computing*, *6*(3), 82. https://doi.org/10.3390/bdcc6030082

[28] Hosny, K. M., Kamal, S. T., Darwish, M. M., & Papakostas, G. A. (2021). New image encryption algorithm using hyperchaotic system and fibonacci Q-matrix. *Electronics*, *10*(9), 1066. https://doi.org/10.3390/electronics10091066